

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-006349

(43)Date of publication of application : 09.01.2002

(51)Int.Cl.

G02F 1/35
H01S 3/10
H01S 3/30
H04B 10/16
H04B 10/17

(21)Application number : 2001-111420

(71)Applicant : LUCENT TECHNOL INC

(22)Date of filing : 10.04.2001

(72)Inventor : GRANT ANDREW R
MAMYSHEV PAVEL VIKTOROVICH
MOLLENAUER LINN FREDERICK

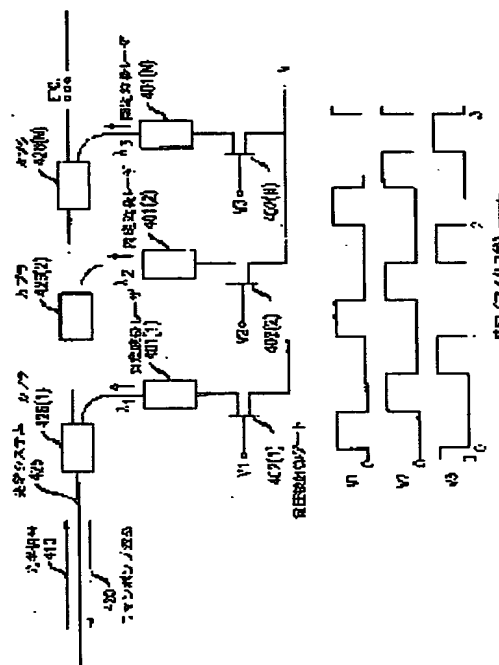
(30)Priority

Priority number : 2000 552772 Priority date : 20.04.2000 Priority country : US

(54) METHOD FOR PUMPING OPTICAL SYSTEM HAVING PLURAL RAMAN PUMPS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for facilitating generation and use of a flat and broad-band Raman gain in an optical transmission system.
SOLUTION: A flat and broad-band gain is obtained by using Raman amplification in which time-division multiplexed plural wavelengths are backward-pumped. By means of a frequency scanning method, it is possible to generate a flat gain (variation of 0.05% or less) over a gain bandwidth of 8 THz at least while making it possible to adjust a shape of a gain bandwidth required for solving drawbacks of various systems. Favorably, all of these conditions can be established and changed within milliseconds using a known and simple full-electronic control.



[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-6349

(P2002-6349A)

(43) 公開日 平成14年1月9日 (2002.1.9)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	マークシート (参考)
G 0 2 F 1/35	5 0 1	G 0 2 F 1/35	5 0 1 2 K 0 0 2
H 0 1 S 3/10		H 0 1 S 3/10	Z 5 F 0 7 2
			Z 5 K 0 0 2
H 0 4 B 10/16		H 0 4 B 9/00	J
10/17			

審査請求 未請求 請求項の数23 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2001-111420(P2001-111420)

(22) 出願日 平成13年4月10日 (2001.4.10)

(31) 優先権主張番号 09/552772

(32) 優先日 平成12年4月20日 (2000.4.20)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 596077259

ルーセント テクノロジーズ インコーポ
レイテッド

Lucent Technologies
Inc.

アメリカ合衆国 07974 ニュージャージ
ー、マレーヒル、マウンテン アベニュー
600-700

(74) 代理人 100081053

弁理士 三俣 弘文

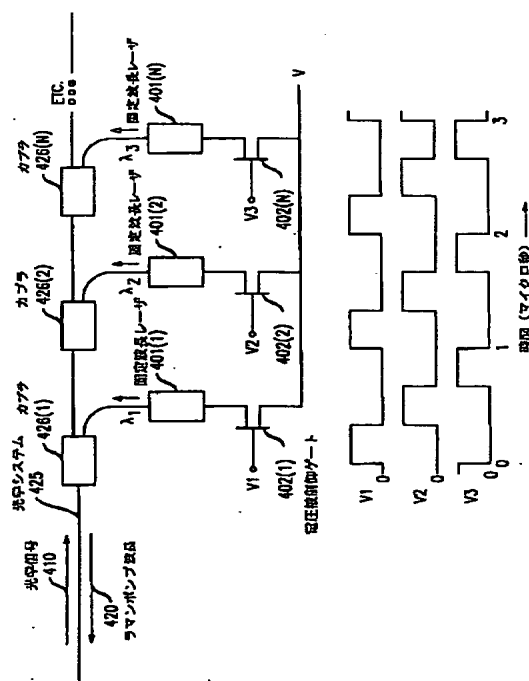
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 複数のラマンポンプを有する光学システムをポンピングする方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 光学伝送システムにおいて、平坦で高帯域のラマンゲインの生成と利用を容易にするような方法と装置を提供する。

【解決手段】 時分割多重化された複数の波長を後方ポンプされたラマン増幅を用いて平坦で高帯域のゲインを得る。周波数掃引方法は、様々なシステムの欠点を解決するのに必要とされるゲインのバンド幅の形状に対し幅広く調整可能にしながら、少なくとも8THzの幅でゲインのバンド幅にわたって平坦なゲイン (変動が0.05%以下) を生成できる。好ましいことにこれらの条件の全ては、公知で単純な全電子制御を用いて、ミリ秒カンド内で確立し変更することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ラマンポンプ波長を光学システムに時分割多重化するステップを有することを特徴とする複数のラマンポンプを有する光学システムをポンピングする方法。

【請求項 2】 前記ラマンポンプ波長は、個々の波長からなる有限の組を有することを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】 前記複数のラマンポンプは、波長が変動するポンプ信号を生成することを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 4】 前記ラマンポンプ波長と光学信号は、同一方向に光学システム内を伝搬することを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 5】 前記ラマンポンプ波長と光学信号は、反対方向に光学システム内を伝搬することを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 6】 前記選択されたラマンポンプ波長は、個々の波長からなる有限の組を有し、他の選択されたポンプ波長は変動することを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 7】 光学バスと、前記光学バスと光学的結合する複数のカプラと、前記光学カプラに光学結合する複数のラマンポンプと、を有する光学システムをポンピングする方法において、ラマンポンプから出力されるラマンポンプ波長は、前記光学システム内で時分割多重化されることを特徴とする光学システムをポンピングする方法。

【請求項 8】 前記ラマンポンプ波長は、個々の波長からなる有限の組を有することを特徴とする請求項 7 記載の方法。

【請求項 9】 前記ラマンポンプ波長は、変動することを特徴とする請求項 7 記載の方法。

【請求項 10】 前記ラマンポンプ波長と光学信号は、同一方向に光学システム内を伝搬することを特徴とする請求項 7 記載の方法。

【請求項 11】 前記ラマンポンプ波長と光学信号は、反対方向に光学システム内を伝搬することを特徴とする請求項 7 記載の方法。

【請求項 12】 前記ラマンポンプ波長のうち選択された波長は、個々の波長からなる有限の組を有し、他の選択されたポンプ波長は変動することを特徴とする請求項 7 記載の方法。

【請求項 13】 光学バスと、複数の光学ラマンポンプ波長を生成する手段と、前記複数の光学ラマンポンプ波長を、前記光学バスに結合する手段と、を有する光学システムにおいて、前記複数の光学ラマンポンプ波長は、時分割多重化されていることを特徴とする光学システム。

【請求項 14】 前記光学ラマンポンプ波長は、有限の

組の個々の波長を有することを特徴とする請求項 13 記載の光学システム。

【請求項 15】 前記複数の光学ラマンポンプ波長は、変動する波長の組を含むことを特徴とする請求項 13 記載の光学システム。

【請求項 16】 前記ラマンポンプ波長は、光学信号が光学バス内を流れるのと同じ方向に光学バスに結合することを特徴とする請求項 13 記載の光学システム。

【請求項 17】 前記ラマンポンプ波長は、光学信号が流れるのと反対方向に光学システムに結合することを特徴とする請求項 13 記載の光学システム。

【請求項 18】 前記選択されたラマンポンプ波長は、個々の信号からなる有限の組を有し、他の選択されたポンプ波長は変動することを特徴とする請求項 13 記載の光学システム。

【請求項 19】 ラマンポンプから生成されたラマンポンプ波長は、時分割多重化されるように、複数のラマンポンプから光学システムをポンピングする方法。

【請求項 20】 前記ラマンポンプ波長は、反対方向に伝搬する信号であることを特徴とする請求項 19 記載の方法。

【請求項 21】 複数の光学ラマンポンプを有する光学システム内のラマンゲインバンドを生成する方法において、

前記ラマンポンプにより生成された光学ラマン信号を、光学システム内に時分割多重化するステップを有することを特徴とする光学システム内でラマンゲインバンドを生成する方法。

【請求項 22】 前記光学ラマンポンプ波長は、光学信号と反対方向に伝搬する信号であることを特徴とする請求項 21 記載の方法。

【請求項 23】 前記ラマンポンプ波長は、複数のレーザにより生成された波長変動信号であり、前記波長変動の特性と、前記レーザの出力パワーの同期制御が組み合わされることを特徴とする請求項 22 記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光通信に関し、特に、広いバンド幅にわたって平坦なラマンゲインを生成する方法と装置に関する。

【0002】

【従来の技術】全光伝送に対する初期の提案（例えば、A. Hasegawa, 著の "Numerical study of optical soliton transmission amplified periodically by the stimulated Raman process," Appl. Opt., 23, 1095 (1984); と、L. F. Mollenauer, J. P. Gordon, and M. N. Islam, 著の "Soliton propagation in long fiber with periodically compensated loss," IEEE J. Quantum Electronics QE-22, 157 (1986) を参照のこと）は、ラマン効

果に基づいて得られたゲインを用いて、伝送用の光ファイバのスパン（一部）を増幅器に変えている。このようなスキームは多くの利点を提供し、そして実際のところ全光長距離伝送の最初のデモンストレーションに対し成功裏に用いられており、これはその後、L. F. Mollenauer と K. Smith の著による "Demonstration of soliton transmission over more than 4000 km in fiber with loss periodically compensated by Raman gain," which appeared in Opt. Lett. 13, 675 (1988) で報告されている。

【0003】しかし1980年代後半のエルビウムファイバ増幅器の出現により、ラマン増幅は、主に必要とされるポンプパワーの大きさゆえに現在では余り利用されなくなっている。すなわち、信号パワーが1-2mW程度の単一チャネル伝送においては、正のラマンゲインを得るのに必要な数百mWのしきい値パワーは大きすぎ、そして今のところ実用的ではない。高密度WDM（正味信号レベルは100mW程度）が近年優勢になるにつれて、そして数百mWの出力を有する半導体ポンブレザが同時に市場に出てくるにつれて、選択する技術が変わりつつある。現在ラマンゲインは、ノイズ／非線形のペナルティー（欠点）を解決する能力があるため、およびゲインのバンド幅の場所と大きさは利用可能なポンプ波長にのみ依存するという事実のために高く評価されている。高密度WDMに対するラマン増幅の別の重要な利点は、エルビウム増幅器とはまったく対照的に、ラマンゲインのバンド幅の形状は、ポンプレベルと信号レベルとは無関係である点である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、光学伝送システムの重要性ゆえに、ラマンゲインの生成と利用を容易にするような方法と装置を提供することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明の方法は、広いラマンゲインのバンド幅を得るために、結合したポンプ波長を時分割多重化することである。

【0006】様々なポンプ波長が互いに相互作用するのを阻止する方法として、最初に考えられたもので、本発明の方法は、周波数掃引を行う際に、いくつかの重要な利点を有する。

【0007】具体的に説明すると、本発明の周波数掃引方法は、様々なシステムの欠点を解決するのに必要とされるゲインのバンド幅の形状に対し幅広く調整可能にしながら、少なくとも8THzの幅でゲインのバンド幅にわたって平坦なゲイン（変動が0.05%以下）を生成できる。好ましいことにこれらの条件の全ては、公知で単純な全電子制御を用いて、ミリセカンド内で確立し変更することができる。

【0008】

【発明の実施の形態】図1を参照して、本発明のバックグラウンドを説明する。図1にはラマン効果を示す図である。図1によれば、シリカガラス製のファイバ中のラマン効果は、基底状態101から仮想状態102へのポンプ誘導遷移と、この仮想状態102からの放射103が後に続く。放射103は、格子の励起状態104に至ると終了する。励起状態104からの放射105（通常数フェムト秒内で発生する）で、基底状態101へ戻ることになる。

【0009】光学遷移は、励起電子レベルに対しては極めて高い非共鳴性を有し、通常このレベルはシリカガラス内では基底状態から5-6eV上の場所にある。このため光学遷移は、非常に強いマトリックス原子から主に強度を得て、第1電子状態へ移る。

【0010】緩和が極端に速いために、光学放射の最終状態の分布（population of terminal state）は、とり囲んでいるフォノンバスと平衡状態で決定され、そのため光学ポンピングと放射の割合とはほとんど無関係である。このことは、光学ポンピング動作（optical pumping dynamics）からのラマンゲインのバンド幅の形状とは無関係となる原因である。

【0011】ラマン応答は、本質的に瞬間的なものであり、それゆえに順方向ポンピング（ポンピング光と信号光が同一方向に伝搬する）において、信号パターン上でのゲインの依存性における重大な問題を引き起こす傾向がある。しかし後方ラマンポンピングで得られるポンプ光と信号光との間の相互作用を行う長い有効パス（特定ファイバ損失長さの2倍に等しい）は、通常、数百マイクロ秒の有効積分時間に対応する。これは高いポンプパワーレベルと信号パワーレベルで動作するエルビウム増幅器の積分時間以上となり、さらにまたパターンの依存性の問題を解決するのに必要な長さ以上となり、これは本発明の時分割多重化スキームについても当てはまる。

【0012】ラマン効果は、ポンプ光と信号光が同一偏光の時に最大となり、それらが直交して偏光するときにほぼゼロとなる（図1においては、この偏光依存性を解決する2つの方法が示されており、その第1の方法は、ポンプ光そのものを無偏光にすることであり、第2の方法は、後方ラマンポンピングのみを用いることである）。

【0013】後者の場合、通常ファイバの複屈折に回答して、反対方向に伝搬するポンプ光と信号光を表すStokesベクトルは、反対方向にPoincare球を回転し、そしてパス平均ベースでポンプ光と信号光の相対的な偏光状態を完全に平均化する。いずれの方法もそれ自身としては有効であるが、一緒に用いる場合にはラマンゲインの測定可能な偏光依存性は、一緒に消失する傾向がある。

【0014】ポンプ光子と信号光子は、以下の一対の結合式にしたがって互いに相互作用する。

【数1】

$$\frac{dp_s}{p_s} = \left(-\alpha_s + \frac{R}{A_{\text{eff}}} P_p \right) dz \quad (1a)$$

【数 2】

$$\frac{dp_p}{p_p} = \left(-\alpha_p + \frac{R}{A_{\text{eff}}} P_s \right) dz \quad (1b)$$

ここで α_p と P_p は、ポンプ波長におけるファイバ損失係数とパワーを表し、 α_s と P_s は、信号波長においてファイバ損失係数とパワーを表す。 A_{eff} は、ファイバの有効コア面積であり、 R はラマンゲイン係数である。純粋のシリカ製ファイバにおける偏光が同じポンプ光と信号光に対するラマンゲイン帯域のピークにおいては、 $R = 68 \text{ km}^{-1}/\text{W}/(\mu\text{m})^2$ であり、偏光が異なるポンプ光に対しては、その値はほぼ半分となる。 R は、光ファイバの G_e の含有量が増加すると大幅に増加する。

【0015】ラマンゲイン帯域の正確な形状は、ガラス組成に依存するが、ほぼ純粋なシリカガラスに対しては図 1 に示すように、そして分散シフト型ファイバに対しては図 2 に示すように、その形状は非対称で、周波数差がゼロの方向に対しては、ほとんど線形の傾斜となり、ピークの高周波側でははるかに急な傾斜となる。より平坦なゲイン帯域を達成するために、多重化ポンプ周波数（すなわち波長）を使用する場合には、ラマン応答の非対称性は、様々なポンプ波長の相対的なパワーの高い非均一性を支配する傾向がある。しかし所望の分布は、それがいかに複雑なものであっても、本明細書で記述すべき技術でもって容易かつ経済的に達成可能である。

【0016】本願の発明者らは、本発明の態様は、マルチポンプ波長の使用に伴う基本的な問題点、すなわちラマン効果そのものにより得られる、非常に強く、かつ有害な相互作用を解決する 1 つの方法とみなしていた。最も単純な例においては、2 個のポンプ波長間の相互作用を考えると、その相互作用は、2 個のポンプ波長のうちの長い方の波長を信号として取り扱うことにより、結合式 (式 1) から計算できる。

【0017】図 3 に示すように、ポンプ波長が光ファイバの中を伝搬するにつれて、エネルギーは短い波長から長い波長へ急速に移り変わる。そのためバス平均ベースで 2 つのポンプの間の相対的なパワーの分布は、初期の分布（最初に意図した分布）とはまったく異なる。さらにまた、ラマンゲインは、ファイバ損失が線形となるように、ファイバのスパンにわたって均一に分布していることが重要であるため、短い波長パワーをあらかじめ強化しておくことは十分な解決方法ではない。しかし 2 つのポンプ波長が、異なる時間に（ずれて）ファイバ中を伝搬すると、この相互作用を回避することができる。パワーが 2 つの波長間を行ったり来たりする (dithered back and forth) ような速度は、有効積分時間に対し十分速い限り、累積した信号ゲインは、時間（それゆえにバ

ターン）とは独立している。前述したように、後方ラマンポンピングにおける積分時間は、数百マイクロ秒のオーダーとなり、ディザリング (dithering) の必要周波数は、1 以下である必要がある、すなわちせいぜい数 MHz である。その周波数範囲においては、レーザの必要とされる電子駆動装置はシンプルで、かつ安く容易に構成することができる。

【0018】本発明の主眼である時分割多重化スキームには、2 つの基本的な方式がある。第 1 の方式は図 4 に示すように、複数の固定波長レーザ 401 (1) . . . 401 (N) が、光学的に多重化されるが、それぞれは、電圧被制御ゲート 402 (1) . . . 402 (N) により行われるパルス駆動電流の使用により、別々の時間に動作するようになる。これは概念的には単純であるが、この方式は、平坦なゲインを達成するためには限られた解像度となり（図 5）、複数のレーザとマルチプレクサに対する要件は過酷で、そのため高価であり、かさばる傾向にある。図 4 に示すように、光学システム 425 内を伝搬する光学信号 410 と、反対方向に伝搬する結合されたラマンポンプ波長 420 とを有し、これは、それぞれカプラ 426 (1) . . . 426 (N) により、光学システム 425 により結合された固定波長レーザ 401 (1) . . . 401 (N) の出力ポンプを結合することにより生成される。

【0019】次に図 6 を参照すると、本発明の他の実施例が示されている。具体的に説明すると、光学システム 625 内を伝搬する光学信号 610 は、カプラ 626 により光学システム 625 内に結合された反対方向に伝搬するラマンポンプ波長 620 を有する。ラマンポンプ波長 620 は、1 つのレーザ 601 (1) により、あるいは 2 個のレーザ 601 (N) により生成され、その出力は、偏光コンバイナ 630 により偏光多重化される。

【0020】さらにまた本発明の一態様によれば、ポンプレーザは一定 (dc) 電流により駆動されるが、その波長はプログラム可能な電子関数生成器 650 により、連続的および周期的に走査される。電子関数生成器 650 により生成されたプログラム可能な関数は、所望の平坦なゲイン帯域を得るために、所望の方法で変更することができる。この方式（以下便宜上、掃引波長、あるいは掃引周波数スキームと称する）は、2 つの単純な（それゆえに経済的）利点と、波長走査駆動電子装置の帯域幅にのみ解像度が制約されるという 2 つの利点を有する。バンド幅は、数 10 - 数 100 MHz の範囲内にあ

り、かつ安い電子部品で形成することができるために、解像度は常に第1の方式よりもはるかに良い。高速の周波数走査は、ポンプのBrillouin後方散乱を回避するために、レーザの周波数広域化を形成する必要がなくなる。

【0021】最後に、いずれのスキームにおいても、ラマンゲインの帯域の幅と形状は、関連電子波形を単純に調節することにより、容易かつ高速で制御可能である。ゲイン形状調整装置の構成の単純さ、低価格さ、速度は、純粋に光学的ゲインイコライザの高価性と複雑さ、低速性と、光学的挿入損失と比較すべきことである。

【0022】本発明の掃引周波数方法においては、最も平坦でかつ最も幅の広いゲイン帯域を生成させるようなラマンポンプ周波数のある帯域に対して、重み付け関数を決定するための有効なアルゴリズムを本発明者らは開発した。このアルゴリズムは、1つのポンプ周波数に対する、実験的に測定されたゲインスペクトラム（図2に示すような）を用いる。所望のゲインスペクトラムの平坦領域と、それに基づく推測を対応するものとして仮定することから、対応するskirtsという仮定から始まり、この対応する重み付け関数は定義式のFourier変換により見いだされる。この解決方法は、繰返しステップを行うことにより、例えば計算されたポンプ重み付け係数を用いて、ラマンゲインスペクトラムのより良好な値を予測することにより改善される。50回から100回の繰返しが必要であるが、全体のプロセスにかかる時間は高速PCで1分以下である。

【0023】図7、8に前記のアルゴリズムを用いて得た結果の例を示す。具体的に説明すると図7は、ポンプ波長に対し必要とされる重み付け関数と、1511~1410nmの間で掃引されたときの8THz以上の幅のフラットなゲイン帯域（1530~1595nm）を示す。このゲイン帯域は、よりはるかに複雑な、そして面倒なエルビウムファイバ増幅器の「C」バンドと「L」バンドを組み合わせたのとほぼ同じ幅を有する。さらにまたこのバンドは、スペクトラル効率が0.4における3.2Tbit/秒の伝送容量に対し十分余裕がある。

【0024】図8は、このバンド幅に対し、ゲインリップルが0.01dB以下となるように（公称20dBから外れた）、あるいは変動が0.05%以下となるようにした平坦なゲイン領域の拡大図である。上記の105nm（15THz）からのポンプ掃引を、84nm（12THz）に減少させること、およびこのゲインリップルは8THzのバンドにわたって十分小さく（0.01dB以下）、そしてこれは特定のレーザに対し実現可能であるということが重要であると決めることができる。

【0025】図9は、図7の重み付け関数を生成するポンプ周波数における必要とされる周期変動を示す。ポンプレーザの出力周波数は、それに同調するのに用いられる電圧あるいは電流に関し、多かれ少なかれ線形性を維

持するという仮定のもとで、駆動電子装置は図7、図8の結果を正確に再現するために、基本駆動周波数の100倍以下のバンド幅を有する必要がある。この実施例において、仮定した基本駆動周波数が1MHzの場合には、電子装置のバンド幅は100MHz以下である必要があり、この要件は容易に適合できる。

【0026】ゲインバンドの形状は、図8のまったく平坦なカーブに限定されない。この掃引周波数方法は、高密度WDMにおける様々な周波数間のラマン相互作用を補償することの必要のある他の単純な形状、例えば図10に示すような線形傾斜も可能となる。長波長チャンネルは、短波長チャンネルとの相互作用からのゲインを受ける。原理的には、平坦で、かつ急速には変動しない関数により表される限り、いかなる形状のゲインバンド幅も可能となる。

【0027】掃引周波数技術を用いると、固定周波数ポンプでの狭いバンドゲインにわたってレーザパワーを大幅に増加できる。図7の場合、例えばその係数は1.87である。必要とされる絶対ポンプパワーに対する感応を得るために、80km長さのスパンの分散シフト型ファイバ（有効コア面積が50 μm^2 ）では、16.8dBのスパン損失のうち約75%、すなわち12.5dBが後方ポンブラマンゲインにより補償される。（それ以上に補償することは、信号そのもののRayleigh二重バック散乱からの問題を引き起こす）その場合、もし可能なレベルの信号パワーでは、狭バンドゲインに対しては285mWのポンプパワーが必要とされ、8THzの平坦なゲインバンドを生成するためには、そのパワーは533mWにまで上昇する。大きな信号パワーが必要な場合には（高密度WDMの場合のように）、ポンプパワーは全信号パワーよりも幾分か大きい量だけそれに増加させる必要がある。

【0028】ある種のアプリケーションにおいては、前の実施例の全8THzのバンド幅が必要とされないアプリケーションにおいては、ゲインのバンド幅を減らすことにより必要とされる周波数掃引とポンプレーザのパワー出力を、それに応じて減らすことが可能となる。図11はポンプレーザの10THzの周波数掃引のみを必要とするような、5THzゲインのバンド幅に減らし、レーザパワーのファクタは、わずか1.56である例を示している。

【0029】ポンプレーザの高出力パワー（0.5W以上を光ファイバに結合する）と、高速かつ広い（80nm以上の）周波数チューニングのような組み合わせた要件に適合する最適な方法は、既知の設計の幅が広く同調可能な低パワー（半導体レーザ）と、その後に形成される半導体伝搬波増幅器の組合せを用いることである。同調レーザの有力な候補は、同調垂直カプラフィルタレーザ（tunable vertical-coupler filtered laser：VCFL）であり、これに関しては、I.Kim et al., 著の文

献 "Broadly tunable vertical-coupler filtered tensile-stained InGaAs/InGaAsP multiple quantum well laser," which appeared in Appl. Phys. Lett., Vol 64, pp. 2764 (1994). を参照のこと。このデバイスのチューニングは、半導体の屈折率の小さな変動は、広い範囲にわたって（すなわち 80 nm 以上にわたって）長周期グレーティングの位相マッチング波長を容易に変化させるという事実に基づいて行われる。長周期グレーティングを用いて、レーザの後ろファセットをブロードバンドミラーに結合し、大きなフィードバックが位相マッチングした波長時にのみ起こる。他の可能性は、LiNbO₃ の部品を使用すること、あるいは他の適宜の電子光学結晶を用いて、レーザのフィードバックループ内に挿入される、広範囲に同調可能な Lyot フィルタを形成することである。

【0030】本発明の様々な変形例は、当業者に容易に思いつくものである。しかしこれらの変形例は、本発明の特許請求の範囲に含まれるものである。

【0031】例えば、周波数を非常に広いバンド幅（例えば 80 nm 以上）にわたって掃引しながら、高い出力パワーを維持するポンプレーザを実現することが困難な場合には、このような問題は、図 4、6 の技術を組み合わせることにより容易に解決できる。特に図 7 と 11 から分かるように、ポンプ重み付け分布は、2 つの十分に離れたバンドに分離する傾向がある。すなわち、1 つは低周波数範囲をカバーする狭い高密度バンドであり、もう一方は高いポンプ周波数をカバーする広い低密度バンドである。かくして、一対の掃引周波数レーザは、それぞれ、2 つのより制限された周波数範囲の一方あるいは他方に対し設計されたものであり、そして周波数ギャップの領域において急峻な遷移を有する WDM カブラとともに多重化され、そしてこれらは掃引周波数分布全体の等価を与えるために時間的に交互に動作する。

【0032】特許請求の範囲の発明の要件の後に括弧で記載した番号がある場合は本発明の一実施例の態様関係を示すもので本発明の範囲を限定するものと解釈してはならない。

【図面の簡単な説明】

【図 1】ラマン効果を表す図とラマンゲインを表すグラ

フ。

【図 2】分散シフト型光ファイバに対するラマンゲインを表すグラフ。

【図 3】ラマンポンプに対するポンプ波長対距離の関係を表すグラフ。

【図 4】本発明により複数のポンプ波長を光学的に多重化する装置を表す図。

【図 5】ラマンゲイン (dB) 対波長の関係を表すグラフ。

【図 6】本発明の他の実施例を表す図。

【図 7】8 THz 以上の幅で平坦なゲインバンド (1530 ~ 1595 nm) を表すグラフ。

【図 8】図 7 の平坦なゲイン領域の拡大図。

【図 9】図 7 に示した重み付き関数を生成するのに適したポンプ周波数内の周期的変動を表すグラフ。

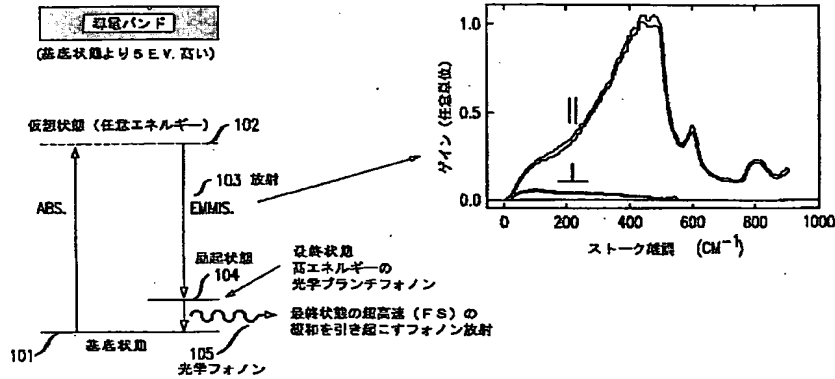
【図 10】本発明による掃引された周波数ゲインスペクトラムを表すグラフ。

【図 11】本発明によりゲインのバンド幅を減らした状態におけるラマンゲイン対周波数の関係を表すグラフ。

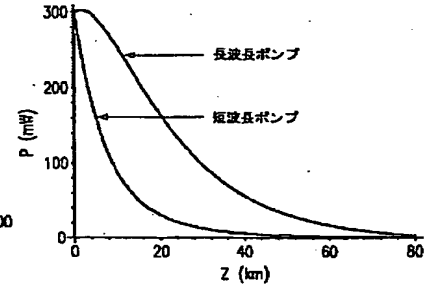
【符号の説明】

- 101 基底状態
- 102 仮想状態
- 103 放射
- 104 励起状態
- 105 光学フォノン
- 401 固定波長レーザ
- 402 電圧被制御ゲート
- 410 光学信号
- 420 ラマンポンプ波長
- 425 光学システム
- 426 カブラ
- 601 電子入制御のポンプレーザ
- 610 光学信号
- 620 ラマンポンプ波長
- 625 光学システム
- 626 カブラ
- 630 偏光コンバイナ
- 650 プログラム可能な電子関数生成器

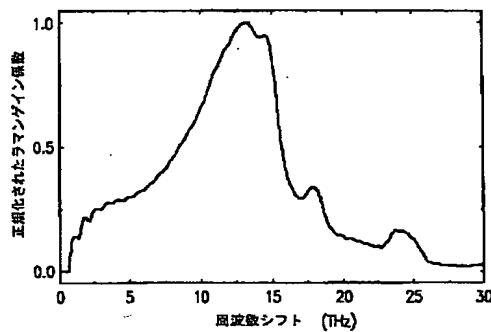
【図1】



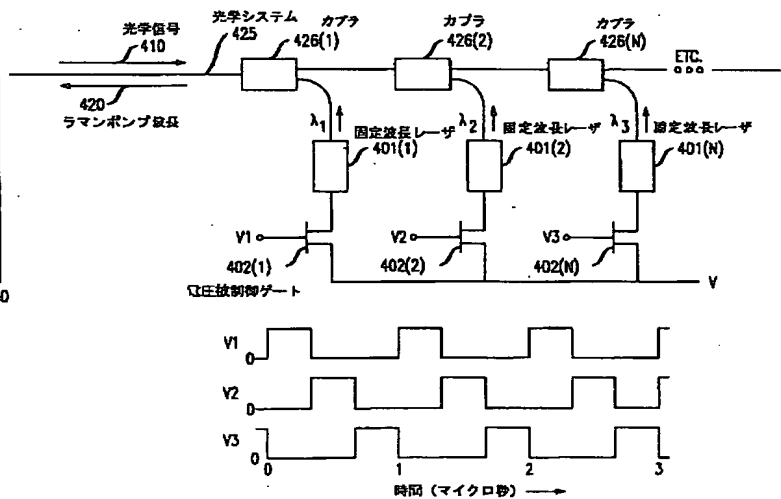
【図3】



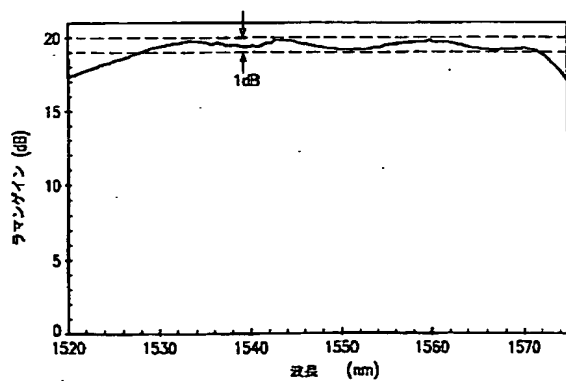
【図2】



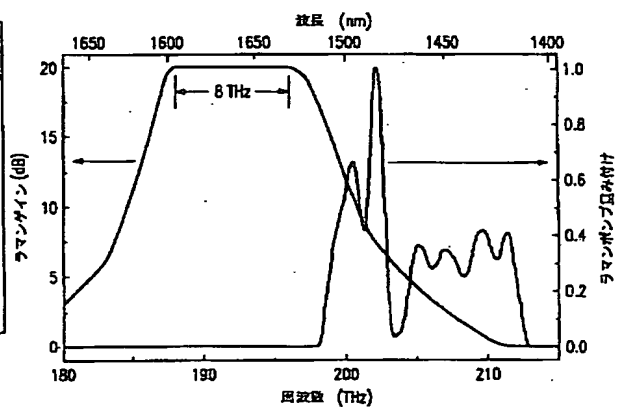
【図4】



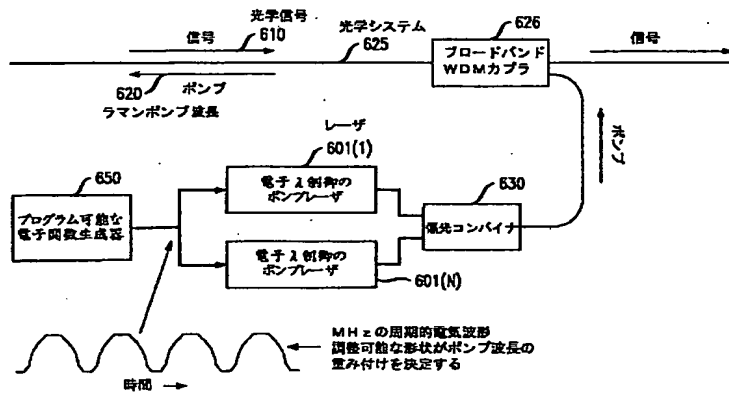
【図5】



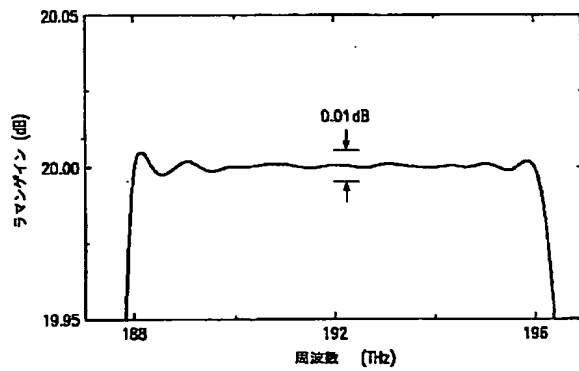
【図7】



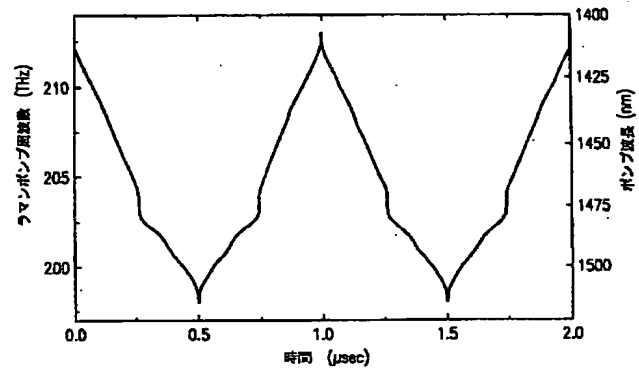
【図6】



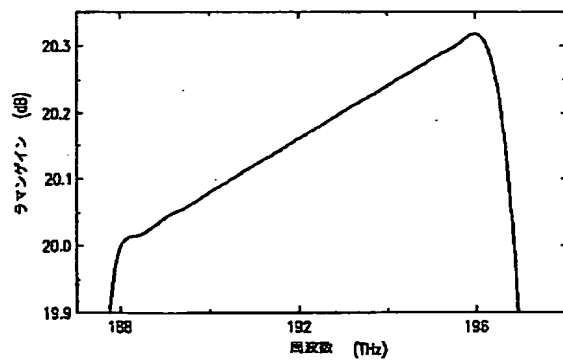
【図8】



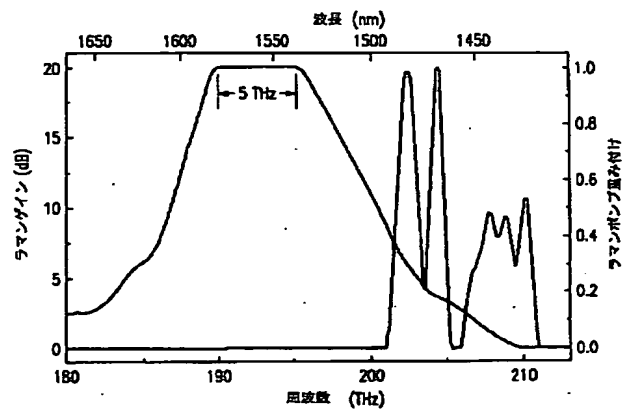
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(71) 出願人 596077259

600 Mountain Avenue,
Murray Hill, New Je
rsey 07974-0636 U. S. A.(72) 発明者 アンドリュー アール グラント
アメリカ合衆国、07747 ニュージャージ
ー州、マタワン、クロス ロード 5、ア
パートメント 334B(72) 発明者 パベル ヴィクトロヴィッチ マミシェフ
アメリカ合衆国、07751 ニュージャージ
ー州、モーガンビル、ラレド ドライブ
111(72) 発明者 リン フレッドリック モールナウアー
アメリカ合衆国、07722 ニュージャージ
ー州、コルツ ネック、カリッジ ヒル
ドライブ 11Fターム(参考) 2K002 AA02 AB30 BA02 CA15 DA10
GA10 HA23.

5F072 AB07 AK06 JJ20 PP07 QQ07

RR01 YY17

5K002 AA06 BA04 CA08 DA31